

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-214160

(43)Date of publication of application : 31.07.2002

(51)Int.Cl.

G01N 22/00

G01R 27/26

(21)Application number : 2001-209860

(71)Applicant : IND TECHNOL RES INST

(22)Date of filing : 10.07.2001

(72)Inventor : RYUU JI-CHUN
CHANG CHUNG-CHI
CHUNG JU-CHI

(30)Priority

Priority number : 2000 89126681

Priority date : 14.12.2000

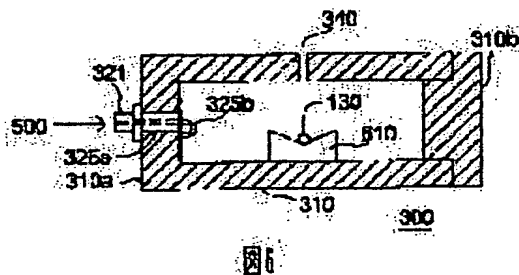
Priority country : TW

(54) LOOP-COUPLING MICROWAVE CAVITY

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a loop-coupling microwave cavity excited by a microwave signal of a TM₀₁₂ mode and having a high Q value for measuring the dielectric characteristics of a high-Q value material.

SOLUTION: This loop-coupling microwave cavity uses a cylindrical cavity as a main body and has a lock hole to be connected to a loop coupling end formed by bending the long pin of an SMA connector at the apex of the cavity. The long pin of the SMA connector is extended into the cavity through the lock hole and the tip of the long pin is brought into contact with the inner wall of the cavity to receive the microwave signal of the TM₀₁₂ mode. A coaxial structure formed with the long pin and the lock hole becomes a 1/4-wavelength transducer, thereby the SMA connector has functions of loop coupling and transformation, and the Q value of the cavity is improved. A small sample is inserted into the cavity, and a cavity perturbation method(CPM) is executed.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

07.09.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-214160

(P2002-214160A)

(43) 公開日 平成14年7月31日 (2002.7.31)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード (参考)
G 0 1 N 22/00		G 0 1 N 22/00	J 2 G 0 2 8
			Y
G 0 1 R 27/26		G 0 1 R 27/26	H

審査請求 有 請求項の数16 O L 外国語出願 (全 29 頁)

(21) 出願番号 特願2001-209860 (P2001-209860)

(22) 出願日 平成13年7月10日 (2001.7.10)

(31) 優先権主張番号 0 8 9 1 2 6 6 8 1

(32) 優先日 平成12年12月14日 (2000.12.14)

(33) 優先権主張国 台湾 (T W)

(71) 出願人 501274665
インダストリアル テクノロジー リサーチ
インスティテュート
台湾, シンチュ, チュツン, チュン シン
ロード, Sec. 4, No. 195

(72) 発明者 リュー ジーチュン
台湾, タオーヤン, ターヒス, デパートメ
ント オブ E. E. チュン チュン イ
ンスティテュート オブ テクノロジー
(番地なし)

(74) 代理人 100087701
弁理士 稲岡 耕作 (外2名)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ループ結合型マイクロ波キャビティ

(57) 【要約】

【課題】 T M₀₁₂ モードのマイクロ波信号で励起されるループ結合のマイクロ波キャビティを提供し、Q値の高い材料の誘電特性を測定するためのキャビティに高いQ値を与える。

【解決手段】 円筒形のキャビティを本体として使用し、SMAコネクタの長いピンを曲げて形成したループ結合端に結合するためのロック孔をキャビティの頂部に有するループ結合型マイクロ波キャビティ。SMAコネクタの長いピンはロック孔を通してキャビティ内に延び、長いピンの先端がキャビティの内壁に接触して、キャビティを励起するためのT M₀₁₂ モードのマイクロ波信号を受ける。一方、長いピンとロック孔とで形成される同軸構造は4分の1波長変換器となり、その結果SMAコネクタはループ結合と変換との機能を持ってキャビティのQ値を向上する。小さなサンプルをキャビティ内に挿入してキャビティ摂動法 (C P M) を実行する。

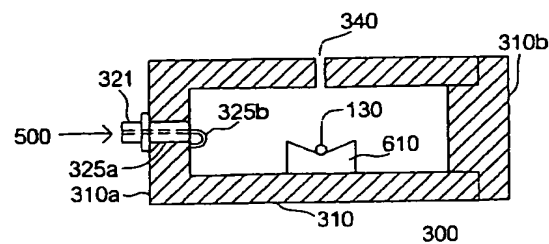


図6

【特許請求の範囲】

【請求項1】一端がロック孔を有する上端部となっているキャビティと、

上記ロック孔に挿入されて上記キャビティに結合されたループ結合器とを含んでなるループ結合型マイクロ波キャビティであって、

上記ループ結合器が、

マイクロ波信号を受ける受信端と、

上記ロック孔を通して上記キャビティの内壁に結合された励起端であり、マイクロ波信号はこの励起端を介して伝搬して上記キャビティを励起するようになされた励起端とを有することを特徴とする、ループ結合型マイクロ波キャビティ。

【請求項2】小さなサンプルを挿入するために上記キャビティに連通した側面孔を上記キャビティが有する、請求項1に記載のループ結合型マイクロ波キャビティ。

【請求項3】上記ループ結合器がインピーダンス変換とループ結合との機能を果たす、請求項2に記載のループ結合型マイクロ波装置。

【請求項4】上記ループ結合器がSMAコネクタである、請求項2に記載のループ結合型マイクロ波装置。

【請求項5】上記SMAコネクタがインピーダンス変換とループ結合との機能を果たす、請求項4に記載のループ結合型マイクロ波キャビティ。

【請求項6】上記ループ結合型マイクロ波キャビティがT_{M012}モードである、請求項2に記載のループ結合型マイクロ波キャビティ。

【請求項7】上記キャビティが金属材料で構成される、請求項2に記載のループ結合型マイクロ波キャビティ。

【請求項8】上記金属材料が銅である、請求項7に記載のループ結合型マイクロ波キャビティ。

【請求項9】上記小さなサンプルが誘電性材料で構成される、請求項2に記載のループ結合型マイクロ波キャビティ。

【請求項10】上記ループ結合器がループ結合とインピーダンス変換との機能を果たす、請求項1に記載のループ結合型マイクロ波キャビティ。

【請求項11】上記ループ結合型マイクロ波キャビティの励起モードがT_{M012}モードである、請求項1に記載のループ結合型マイクロ波キャビティ。

【請求項12】上記ループ結合器がSMAコネクタである、請求項1に記載のループ結合型マイクロ波キャビティ。

【請求項13】上記SMAコネクタがインピーダンス変換とループ結合との機能を果たす、請求項1に記載のループ結合型マイクロ波キャビティ。

【請求項14】上記キャビティが金属材料で構成される、請求項1に記載のループ結合型マイクロ波キャビティ。

【請求項15】上記金属材料が銅である、請求項14

に記載のループ結合型マイクロ波キャビティ。

【請求項16】上記小さなサンプルが誘電性材料で構成される、請求項1に記載のループ結合型マイクロ波キャビティ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本願は、2000年12月14日に出願された台湾特許出願第89126681号を参照により組み入れるものである。本発明は一般にマイクロ波キャビティに関し、より具体的には様々な材料の誘電特性を測定する円筒状の共鳴キャビティに関する。

【0002】

【従来の技術】マイクロ波技術の応用が研究者や産業界の注目を集めてきたが、その応用の中には材料特性の測定、非破壊検査、通信、レーダー、医学、生物化学及び農学が含まれる。これらの関連の研究には材料の誘電特性を正確に知ることが必要なため、研究者達は誘電性材料の調査に取り組んできた。これがマイクロ波技術の発展を更に盛んにしている。

【0003】エレクトロニクス業界では、マイクロ波工学の発展により、初期の頃の衛星通信から携帯のパーソナル通信機器へと高周波通信技術がますます発達した。高周波回路の製造工程は、先ず回路基板にレイアウトを形成して、レイアウトが完成したら必要な回路素子を組み付けて回路全体を完成することである。回路基板は誘電性材料の一種であるから、電気特性は誘電性材料の個々のパラメータによって決まるということを理解することが重要である。そのため、回路設計を行おうとする者はその前に、回路基板の誘電特性をマスターしなければならない。従って、回路基板が期待通りの品質を持っていることを確認する上で、誘電率、損失正接及びQ値等のパラメータが必須の情報となる。誘電性材料のパラメータの測定には、例えば導波管法、伝送法、マイクロストリップ線法、キャビティ摂動法(CPM)及び準光学的共振器法等、様々な方法がある。これらの方法の中で、CPMと準光学的共振器法とが最も低い損失で損失正接を測定することができる。以下のパラグラフではCPMについて説明する。

【0004】CPMの手順は、小さなサンプルをキャビティ内に挿入して摂動を生じさせ、キャビティの共鳴周波数とQ値とを変更して、それらの変化量からサンプルの誘電特性を算出することを含む。CPMは高いQ値を持つ誘電性材料の測定に特に適しているので、ほとんどの研究者が採用している。図1は、CPMプロセス中でのキャビティと小さなサンプルとの横断面図である。図1から、小さなサンプル130をキャビティ100内に挿入した後にキャビティが励起されることがわかる。小さなサンプル130の誘電特性は、サンプル130自体およびキャビティ100の体積と、共鳴周波数およびQ値の変化量とから算出できるが、これらの変化量はサン

ブル130を挿入する前と後との測定値を比較して導くことが出来る。

【0005】図2Aにおいて、円筒状のキャビティの一端は上端200a、また他端は下端200bであり、両端を封止して上端200aと下端200bとの間に閉じた空間を形成している。横断面の切断線2B-2Bで矢印の方向に切断し、図2Bに示すキャビティ200の横断面図とした。図2Bにおいて、CPMを行う前にキャビティ200を励起して、キャビティ200の共鳴周波数とQ値とを測定しなければならない。次に小さなサンプル（図2Bには図示せず）を図1に示すようにキャビティ200内に挿入する。サンプルの挿入後、キャビティ200を再度励起して、変化した共鳴周波数とQ値とを測定する。理論によれば、TM₀₁₂モードにおけるキャビティの共鳴周波数は以下になる。

【0006】

【数1】

$$f_{012} = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{2.405}{a}\right)^2 + \left(\frac{2\pi}{l}\right)^2}$$

【0007】c=3×10⁸m/s

a=キャビティの内壁の半径

l=キャビティの内壁の長さ

a=1.85cmおよびl=7.7cmであれば、共鳴周波数はf₀₁₂=7.33GHzとなる

小さなサンプルを挿入すると共鳴周波数とQ値とが変化して、これらの変化値から小さなサンプルの誘電特性を導くことが出来る。CPMの必須条件として、キャビティのQ値は小さなサンプルのQ値よりも高くなければならず、さもないと測定精度が影響されることに注意することが重要である。

【0008】従来からQ値の高いキャビティはTM₀₁₀モードであり、キャビティの励起には伝送方式が使用されている。この様な場合のQ値は、キャビティ構造の制約により5000未満に制限されている。すなわち、測定される誘電性材料のQ値が5000よりも高いと、得られる測定値は正確ではなく、CPMの実施が無意味になるということである。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】そこで、本発明の目的は、TM₀₁₂モードのマイクロ波信号で励起されるループ結合のマイクロ波キャビティを提供し、Q値の高い材料の誘電特性を測定するためのキャビティに高いQ値を与えることである。

【0010】

【課題を解決するための手段および発明の効果】上記の目的を達成するために、本発明は新しいループ結合型マイクロ波キャビティを提供するが、その特徴を以下のパラグラフで説明する。ループ結合型マイクロ波キャビティは、キャビティとループ結合器とで構成される。キャ

ビティを作製する工程では、銅製の柱状材料にドリルで中空部分を形成し、段付き基部を作製してこれを中空部分にきつく結合して、キャビティの本体を形成する。次にキャビティの頂部にドリルでこの形のロック孔を開ける。ロック孔はループ結合器への結合に使用される。ループ結合器は受信端と励起端とを有し、そのうち受信端は外部回路に接続されてマイクロ波信号を受け、励起端はキャビティの内壁に結合されてキャビティを励起する。実際の用途では、長いピンを持つSMAコネクタをループ結合器として使用できる。結合部は受信端として使用でき、長いピンの先端は折り曲げて励起端を形成する。SMAコネクタの長いピンはロック孔を通してキャビティ内に挿入され、長いピンの先端はキャビティの内壁に結合される。ここでTM₀₁₂モードのマイクロ波信号を供給してキャビティを励起できる。一方、長いピンおよびロック孔は、4分の1波長変換器と見なすことのできる同軸構造を形成する。従って、SMAコネクタはループ結合器として機能するだけでなく、変換器として機能してキャビティのQ値を高くする。更に、キャビティの一方の側にドリルで穴を開けて、小さなサンプルをキャビティに挿入してCPMを実行するための側面孔を形成することができる。

【0011】

【発明の実施の形態】本発明の他の目的、特徴及び利点は、以下の好適な、しかし限定を意図するものではない実施例の詳しい説明から明らかとなるであろう。以下の添付図面を参照して説明する。キャビティの形状は矩形でも円筒形でも良いが、矩形のキャビティよりも円筒形のキャビティの方がQ値が高いため、実際の応用では円筒形キャビティの方が好ましい。円筒形キャビティの中では、TM_{01n}モード及びTE_{01n}モードがよく用いられる。参考文献によれば、平たい円筒形キャビティ（2a/l≥1、a=キャビティの半径、l=キャビティの長さ）のTE_{01n}モードはTM_{01n}モードよりもはるかに高いQ値を持ち、長い円筒形キャビティ（2a/l≤1）のTE_{01n}及びTM_{01n}モードは互いに近いQ値を持つ。それゆえCPMでは長い円筒形のキャビティがしばしば用いられる。キャビティの幾何学的構造に違いがなければQ値が非常に高いことが理想的であるが、しかし基部とカプラーとを取り付けることにより形状は必然的に変化して、その結果Q値が低下する。そのため高いQ値が必要な場合は、当初のキャビティの構造を可能な限り維持しなければならない。

【0012】当初のキャビティの構造を可能な限り維持するために、本発明は反射型カプラーを使ってマイクロ波信号を供給するループ結合型マイクロ波キャビティを提供する。この反射型カプラーが従来の伝送型カプラーに対して持つ利点は、従来型が2つのカプラーを必要とするのに対して、これは1つのカプラーだけで動作が可能だと言うことである。それによって本発明は変更の必

要性を最小限にする。図3は本発明の好適な実施例によるループ結合型マイクロ波キャビティを示す。ループ結合型マイクロ波キャビティ300はキャビティ310とループ結合器320とで構成され、キャビティ310は小さなサンプル（図3には図示せず）をキャビティ310内に挿入するための側面孔340を有する。更にキャビティの上端310aにはキャビティ310と結合するロック孔330があり、キャビティ310とループ結合器320とを結合する。キャビティ310を作製するプロセスでは、キャビティ310の本体として銅等の円筒形の金属材料を使用することができ、この材料にドリルで穴を開けてキャビティ310を形成する。次に同じ金属材料を使用してキャビティ310の下端310bとして段付き基部を作製し、これをはめ込むことにより下端310bとキャビティ310とを結合する。キャビティ310とキャビティの下端310bとの間をもっときつく結合するためには、ドリルで穴を開けてキャビティ310とキャビティの下端310bとの間の結合部にネジを切り、このネジを使ってきつく結合し、キャビティのQ値を高くすることができる。以下、ループ結合器320及びこれとロック孔330との結合について説明する。

【0013】図4はキャビティの上端310aの正面図である。図から分かるように、ロック孔330は上端310aの上にあり、キャビティ310に結合されている。ロック孔330の構造は二重にドリルを掛けることにより得られる：まず円の中心に上端部310aを貫通する大きな孔を開ける。次に円の中心のすぐ横の位置にこれも上端部310aを貫通する小さな孔を開ける。2つの孔は部分的に重なり、図4に示すようなきのこ形のカギ穴形状となるように角を取る。

【0014】図5はループ結合器320の側面図である。一般にキャビティを励起するにはいくつかの方法がある。プローブ方式、ループ方式、絞り方式などである。高いQ値を維持するためには、当初の構造を出来るだけ変化させない方式を選ばなければならない。そのため本発明では、キャビティの励起にはループ方式を選び、ループ結合器320にはSMAコネクタを使用する。図5に示すように、SMAコネクタは同軸構造を有し、その長いピンはフッ素樹脂（テフロン：登録商標）325aで覆われた軸である。一方の端は受信端321として使用でき、外部回路（図示せず）に接続してマイクロ波信号500を受け取ることができる。コネクタの他端は励起端325として使用して、キャビティ310を励起するためのマイクロ波信号500を印加する。長いピンの先端を曲げてループ結合端325bを構成することができる。フッ素樹脂325aとロック孔330とが互いに密着できるように、フッ素樹脂325aの一部を削って、フッ素樹脂325aの外径をロック孔330の大きい方の孔の内径よりもごくわずかに小さくする。

キャビティ310の内壁とループ結合器320との間の結合を行うために、励起端325をロック孔330内に挿入して、ループ結合端325bがロック孔330を通過してキャビティ310内に入れるようにする。フッ素樹脂325aの外径とロック孔330の内径は、それらが互いに密着するように設計される。これにより、励起端325がロック孔330の中に装着されている限り、ループ結合器320はロック孔330内にしっかりと取り付けられる。次にループ結合器320を回転して、ループ結合端325bの先端をキャビティの上端310aの内壁に接触させる。すなわち、励起端325がロック孔330を通してキャビティ310の内壁に結合され、それによりマイクロ波信号500を受け取ったときにこれがキャビティ310の励起に利用されるようになる。キャビティ310の上端310aでループ結合器320にネジを切り、もっと堅固な構造とすることが可能であるのは言うまでもない。

【0015】図6は、ループ結合型マイクロ波キャビティ300を組み立てた後の横断面図である。ループ結合端325bは電流を利用してキャビティを励起してTMモード発振を実現しているため、ループ結合端325bはキャビティと結合しなければならない。図示のように、ループ結合器320はロック孔330内に挿入され、励起端325のループ結合端325bはキャビティ310の内壁に結合されている。CPMのプロセスにおいて、まず位置決めホルダー610をキャビティ310内に挿入してからキャビティ310を励起して、共鳴周波数とQ値とを測定することが出来る。次のステップは、側面孔340から小さなサンプル130を挿入してこれを位置決めホルダー610の上に載置し、次にキャビティ310を再度励起して、共鳴周波数とQ値とを測定する。小さなサンプル130の誘電特性は、サンプルの挿入前と後とに測定されるQ値と共鳴周波数との変化量の比較と、サンプルとキャビティとの体積の計算値から導かれる。位置決めホルダー610の材料としては発泡フォーム材を使用できるが、それはこの材料の比誘電率（ ϵ_r ）が空気の誘電率（ ϵ_0 ）である1にほぼ等しく、従って測定に余り影響を与えないからである。

【0016】横断面図から、SMAコネクタの長いピンが軸であり、上端310aが厚くなってその中に長いピンが挿入されており、長いピンとロック孔が同軸線を形成していることが分かる。この同軸構造により、4分の1波長（ $\lambda/4$ ）変換器とループ結合器320との組み合わせが可能となる。これにより本発明のループ結合器320はループ結合と変換との両方の機能を持つことになる。図7はキャビティの上端310aとループ結合器320との接続部の横断面図である。図7の例では、ループ結合端325bの屈曲部は2mmであり、長いピンがキャビティ310に挿入される長さは10mmであり、長いピンの直径は1.5mmである。従ってキャビ

ティ310内部での長いピンの中心線に沿っての長さは10.5mmである。この長さが4分の1波長であるとすれば、周波数は TM_{012} モードで7.4GHzと計算される。受信端321側から見た励起端325は、4分の1波長同軸線と見なされる。共鳴周波数においては、インピーダンスは開放回路であり Q_e は無限大と見なされる。これによりキャビティは高い Q 値を維持する。実際にはネットワークアナライザHP-8510を使用してループ結合型マイクロ波キャビティ300の特性を測定し、帯域幅 $BW=100kHz$ での TM_{012} モードの中心周波数 $f_{012}=7.549GHz$ (3dB)が得られたので、このキャビティの TM_{012} モードにおける Q 値は次のように求められる。

$$【0017】 Q = f_{012} / BW \approx 75000$$

従来の構成では、 TE_{01n} モードでのキャビティの Q 値が50000まで達したとしても、液体又は丸い形状の平たい固体サンプルの測定に制限される。またこの種のもは製造が非常に困難である。それに対して本発明は、従来の装置よりも明らかに改善されたループ結合型マイクロ波キャビティを提供する。以上説明してきた本発明の好適な実施例には下記のような利点がある。

1. 製作しやすい単純な構造
2. キャビティの構造を当初の形状に近い状態に維持するために、キャビティの励起に反射方式を採用する。
3. ループ結合器を使用して変換とループ結合との両方の機能を行うことにより、高い Q 値を維持する。
4. 高い Q 値の誘電特性を測定するために、 TM_{012} モードでのキャビティの Q 値は75000を超える高い値

が可能。

【0018】マイクロ波信号を受けてキャビティを励起するためのカプラーとして、本発明ではSMAコネクタを応用する点が重要である。しかしSMAコネクタはこの機能を果たすために利用できる唯一の要素ではない。本発明を例示と好適な実施例とによって説明してきたが、本発明はこれらの実施例に限定されるものではないことを理解すべきである。反対に様々な変更や同様の構成及び手順を含むことが意図されており、従ってかかる全ての変更や同様の構成及び手順を含むように、添付の請求の範囲を最も広く解釈すべきである。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来例においてCPMを実施するために小さなサンプルをキャビティ内に挿入したときのキャビティの横断面図である。

【図2】図2Aは、従来の円筒状キャビティを示す。図2Bは、図2Aに示した従来のキャビティの横断面図である。

【図3】本発明の好適な実施例によるループ結合型マイクロ波キャビティを示す。

【図4】図3に示したループ結合型マイクロ波キャビティの上端の正面図である。

【図5】図3に示したループ結合器の側面図である。

【図6】図3に示したループ結合型マイクロ波キャビティを組み立てた後の横断面図である。

【図7】図6に示したキャビティの上端とループ結合器との接続部の横断面図である。

【図1】

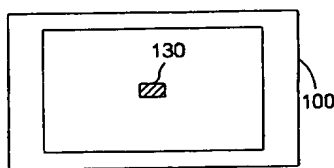


図1

【図2】

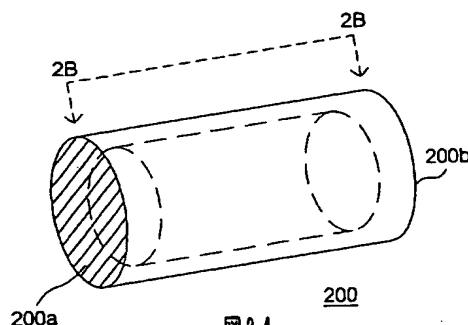


図2A

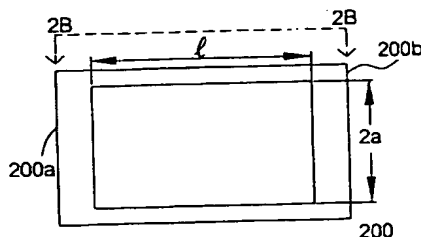


図2B

【図4】

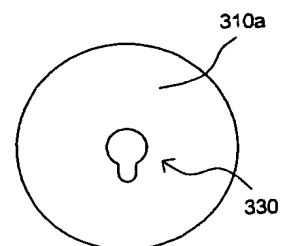


図4

【図3】

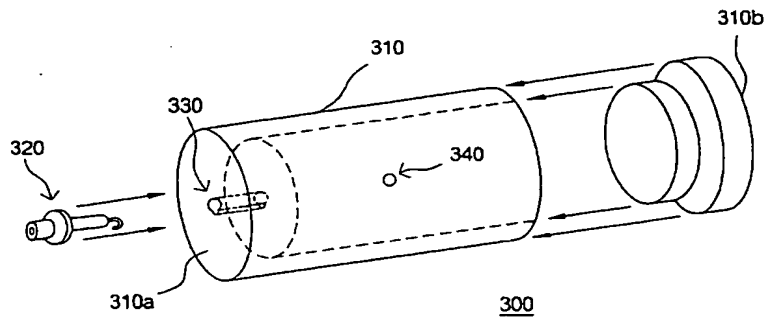


図3

【図5】

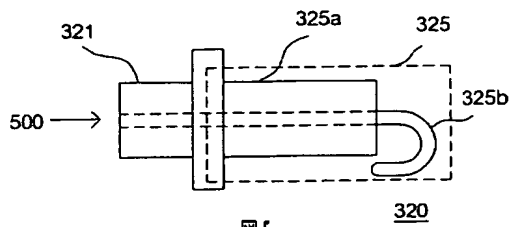


図5

【図6】

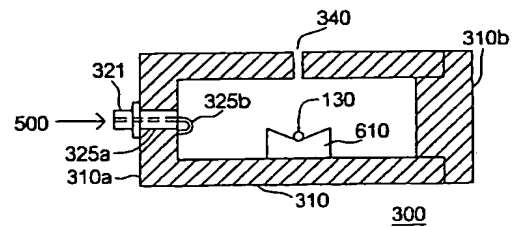


図6

【図7】

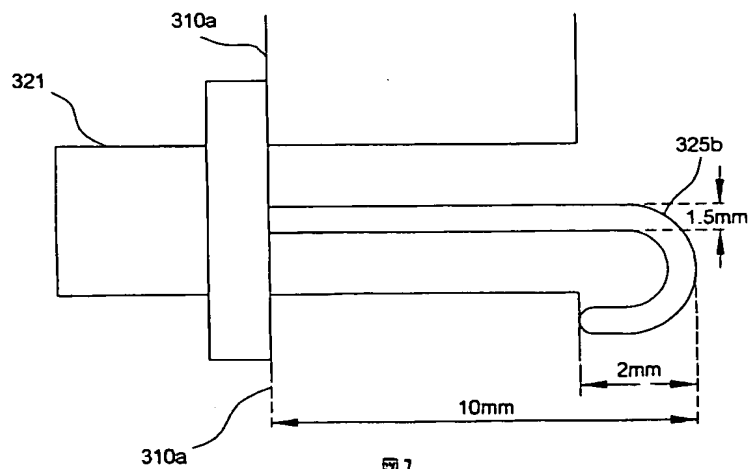


図7

フロントページの続き

(72)発明者 チャン チュン-チ
台湾, シンチュ, チュツン, チュン シン
ロード, 195-11 Sec. 4, M00
CCL/ITRI ビルディング 14番地

(72)発明者 チュン ジューチ
台湾, タオーヤン, ターヒス, デパートメ
ント オブ E. E. チュン チェン イ
ンスティテュート オブ テクノロジー
(番地なし)

Fターム(参考) 2G028 AA01 BB05 CC09 CG10 DH15

【外國語明細書】

LOOP COUPLED MICROWAVE CAVITY

This application incorporates by reference Taiwanese application Serial No. 89126681, Filed 14/12/2000.

BACKGROUND OF THE INVENTION

Field of the Invention

The invention relates in general to a microwave cavity, and more particularly to a cylindrical resonant cavity that measures the dielectric characteristics of various materials.

Description of the Related Art

The applications of microwave technology have attracted the attention of researchers and industry and these applications include: material characteristics measurement, nondestructive detecting, communication, radar, medical science, biochemistry and agriculture. Since the related research requires knowing precisely the material's dielectric characteristics, the researchers have devoted themselves to the exploration of dielectric material. This makes the development of microwave technology more prosperous.

In the electronics industry, the improvements of the microwave engineering makes high frequency communication technology more advanced, from the early days

of satellite transmission to the personal portable communication devices. The process of high frequency circuit fabrication is to form the layout on the circuit board first, and after the completion of the layout, the related components are assembled to complete the whole circuit. It is important to realize that since the circuit board is a kind of dielectric material and the electric characteristics are decided by the individual parameters of the dielectric material. Therefore, one must master the dielectric characteristics of the circuit board before starting the circuit design. Thus, the parameters such as permittivity, loss tangent and the Q factor are essential information to make sure the quality of the circuit board is as expected. There are many measuring techniques available for measuring the parameters of dielectric materials, for example, wave-guide method, transmission method, microstrip line method, cavity perturbation method (CPM) and quasi-optical resonator method. Among these methods, CPM and quasi-optical resonator method produce the lowest loss in measuring the loss tangent. The paragraphs below contain the explanation about the CPM.

The CPM involves placing a diminutive sample into the cavity to cause perturbation and change the resonant frequency of the cavity and its Q factor, so the dielectric characteristics of the sample can be calculated from the quantity of those changes. Since CPM is particularly suitable for measuring the dielectric materials having a high Q factor, it is favored by most researchers.

Referring to FIG. 1, it illustrates the cross-sectional view of the cavity and the diminutive sample during the CPM. It can be seen from FIG. 1 that a diminutive sample 130 is placed into a cavity 100 which is then excited. The dielectric

characteristics of the diminutive sample 130 can be calculated from the volumes of the sample itself 130 and the cavity 100 and the changes in resonant frequency and the Q factors, which can be derived from comparing the measurements before and after the insertion of the sample 130.

Referring to FIG. 2A, it presents a cylindrical cavity with one end being a top end 200a and the other a bottom end 200b with both ends sealed to form a closed space between the top end 200a and the bottom end 200b. The cross-sectional line 2B-2B was cut along the direction of the arrows to form a cross-sectional view of the cavity 200 as shown in FIG. 2B.

Referring to FIG. 2B, one must excite the cavity 200 and measure the resonant frequency and the Q factor of the cavity 200 before performing the CPM. Then a diminutive sample (not illustrated in FIG. 2B) will be placed into the cavity 200 in a manner that is shown in FIG. 1; after the insertion of the sample, the cavity 200 will be excited again in order to measure the changed resonant frequency and the Q factor. According to theory, the resonant frequency of the cavity in TM_{012} mode is:

$$f_{012} = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{2.405}{a}\right)^2 + \left(\frac{2\pi}{\ell}\right)^2}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

a = radius of the inner wall of the cavity

ℓ = length of the inner wall of the cavity

If $a = 1.85$ cm, and $\ell = 7.7$ cm, then the resonant frequency will be

$$f_{012} = 7.33\text{GHz}$$

After the insertion of the diminutive sample, the resonant frequency and the Q factor will change and the dielectric characteristics of the diminutive can be derived from these changes. It is important to note that the essential condition of the CPM is that the Q factor of the cavity must be higher than that of the diminutive sample; otherwise, the accuracy of the measurement will be affected.

Traditionally, the high Q factor cavity is TM_{010} mode and uses transmission style as a way to excite the cavity. The Q factor of this kind is limited under 5000 due to the restraint of the cavity structure. In other words, when the Q factor of the measured dielectric material is greater than 5000, the resulting measurements will not be accurate, thus, it will be meaningless to carry out the CPM.

SUMMARY OF THE INVENTION

It is therefore an object of the invention to provide a loop coupled microwave cavity excited by TM_{012} mode microwave signal in order to provide a higher Q factor to the cavity for measuring the dielectric characteristics of the material having high Q factor.

The invention achieves the above object by providing a new loop coupled

microwave cavity and its features are described in the following paragraphs.

The loop coupled microwave cavity consists of a cavity and a loop coupler. In the process of making the cavity, a copper pillar is drilled to form a hollow area and a step base is made and connected tightly to the hollow area in order to form the main body of the cavity. Then, a mushroom-shaped lock hole is made on the top of the cavity by drilling. The lock hole is to be used in connection to the loop coupler. A loop coupler has a receiving end and an exciting end of which the receiving end is connected to the outside circuit in order to receive the microwave signal while the exciting end is connected to the inner wall of the cavity in order to excite the cavity. In real-life applications, one can use a SMA connector having a long pin as the loop coupler. The connecting part can be used as a receiving end and the top of the long pin is folded to form the exciting end. The long pin of the SMA connector is placed into the cavity through the lock hole while the top of the long pin is connected to the inner wall of the cavity; then a microwave signal in TM_{012} mode can be fed in to excite the cavity. On the other hand, the long pin and the lock hole form a coaxial structure, which can be viewed as a quarter-wavelength transformer. Therefore, the SMA connector serves not only as a loop coupler but also a transformer to increase the Q factor of the cavity. Furthermore, one side of the cavity can be drilled to form a side hole from which the diminutive sample can be placed into the cavity to perform the CPM.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

Other objects, features, and advantages of the invention will become apparent from the following detailed description of the preferred but non-limiting embodiments. The description is made with reference to the accompanying drawings in which:

FIG. 1 (Prior Art) illustrates the cross-sectional view of the cavity when a diminutive sample is placed into the cavity in order to perform the CPM;

FIG. 2A (Prior Art) shows an illustration of a cylindrical cavity;

FIG. 2B (Prior Art) depicts the cross-sectional view of the cavity that is shown in FIG. 2A;

FIG. 3 shows an illustration of a loop coupled microwave cavity provided by the invention's preferred embodiment;

FIG. 4 shows the front view of the top end of the loop coupled microwave cavity shown in FIG. 3;

FIG. 5 shows the lateral view of the loop coupler shown in FIG. 3;

FIG. 6 shows the cross-sectional view of the loop coupled microwave cavity shown in FIG. 3, after it is assembled; and

FIG. 7 shows the cross-sectional view of the connection spot of the cavity's top end and the loop coupler shown in FIG. 6.

DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENT

The geometric structure of the cavity can be either rectangular or cylindrical but the cylindrical cavity is preferred in real-life applications since the Q factor of a cylindrical cavity is higher than that of the rectangular cavity; among the cylindrical cavity, the TM_{01n} and TE_{01n} mode are frequently used. According to the references, a flat cylindrical cavity's ($2a/\ell \geq 1$, a = radius of the cavity, ℓ = length of the cavity) TE_{01n} mode has a Q factor much higher than that of the TM_{01n} mode while a long cylindrical cavity's ($2a/\ell \leq 1$) TE_{01n} and TM_{01n} mode have Q factors that are close to each other. Thus, a long cylindrical cavity is often used in CPM. Ideally, the Q factor should be very high if there is no change in the geometric structure of the cavity, however, the addition of the base and coupler inevitably changes the original geometric, resulting in the degradation of the Q factor. As such, if a high Q factor is required, one must keep the cavity as close to its original structure as possible.

In order to preserve the original structure as much as possible, the invention provides a loop coupled microwave cavity that uses a reflection coupler to feed in the microwave signal. This reflection coupler has an advantage over the conventional transmission coupler; it only needs one coupler to perform the operation while the conventional one needs two. In this way, the invention minimizes the changes needed.

Referring to FIG.3, it presents an illustration of a loop coupled microwave

cavity provided by the invention's preferred embodiment. The loop coupled microwave cavity 300 consists of a cavity 310 and a loop coupler 320, there is a side hole 340 on the cavity 310 for inserting the diminutive sample (not illustrated in FIG.3) into the cavity 310. Besides, a top end 310a of the cavity has a lock hole 330 connected to the cavity 310 which connects the cavity 310 and a loop coupler 320. In the process of making the cavity 310, a cylindrical metallic material, such as copper, can be used as the body of the cavity 310 and the metal is drilled to form a cavity 310. Then the same metal is used to make a step base as a bottom end 310b of the cavity 310 and applies the transition fit to connect the bottom end 310b and the cavity 310. In order to make the connection between the cavity 310 and the bottom end 310b of the cavity tighter, one can drill and spiral the connecting spot between the cavity 310 and the bottom end 310b of the cavity, then use the screw to make the connection tight in order to increase the Q factor of the cavity. The following paragraphs explain the loop coupler 320 and its connection with the lock hole 330.

Referring to FIG.4, it presents the front view of the top end 310a of the cavity. As can be seen, a lock hole 330 is on a top end 310a and connected to the cavity 310. The structure of the lock hole 330 is obtained by double-drilling: first, a big hole is drilled at the center of the circle and drilled through the top end 310a; second, a small hole is drilled at a place just next to the center of the circle and also drilled through the top end 310a. The two holes are partly overlapped and smoothed to make a mushroom-shaped lock hole structure that is shown in FIG. 4.

Referring to FIG.5, it illustrates a lateral view of the loop coupler 320. In general, there are several ways to excite the cavity: probe style, loop style, iris style,

etc... One must choose a style that changes the original structure as little as possible in order to preserve a high Q factor. Therefore, the invention will choose a loop style to excite the cavity and use a SMA connector as a loop coupler 320. As illustrated in FIG.5, the SMA connector has a co-axial structure and its long pin is an axis, which is covered by Teflon 325a. One end can be used as a receiving end 321 and can be connected to an outside circuit (not illustrated) in order to receive a microwave signal 500; the other end of the connector can be used as an exciting end 325 and applies microwave signal 500 to excite the cavity 310. The top of the long pin can be bent to make a loop coupling end 325b. In order to enable the Teflon 325a and the lock hole 330 to stick to each other, part of the Teflon 325a is trimmed so that the Teflon's 325a external diameter will be just a little bit shorter than the internal diameter of the bigger hole of the lock hole 330. In order to make a connection between the inner wall of the cavity 310 and the loop coupler 320, the exciting end 325 is placed in the lock hole 330 so the loop coupling end 325b can enter the cavity 310 through the lock hole 330. The external diameter of the Teflon 325a and the internal diameter of the lock hole 300 are designed in such a way that they can stick to each other. Thus, the loop coupler 320 will be installed solidly in the lock hole 330 as long as the exciting end 325 is placed into the lock hole 330. Then, by turning the loop coupler 320 around, the top end of the loop coupling end 325b will touch the inner wall of the top end 310a of the cavity. In other words, the exciting end 325 is connected to the inner wall of the cavity 310 through the lock hole 330 so when a microwave signal 500 is received, it will be used to excite the cavity 310. Of course, one can give the loop coupler 320 a screw at the top end 310a of the cavity 310 to make a firmer structure.

Referring to FIG. 6, it shows the cross-sectional view of the loop coupled microwave cavity 300 after it is assembled. Since the loop coupling end 325b uses a current to excite the cavity in order to get the TM mode, the loop coupling end 325b must be connected to the cavity. As illustrated, the loop coupler 320 is placed in the lock hole 330 and the loop coupling end 325b of the exciting end 325 is connected to the inner wall of the cavity 310. In the process of CPM, the positioning holder 610 can be placed into the cavity 310 first, and then the cavity 310 is excited in order to measure the resonant frequency and the Q factor. The next step is to insert the diminutive sample 130 through the side hole 340 and place it on the positioning holder 610 and then the cavity 310 is excited again to take the measurements of the resonant frequency and the Q factor. The dielectric characteristics of the diminutive sample 130 can be derived from a comparison of the changes in the Q factor and the resonant frequency, which is measured before and after the insertion of the sample, and the calculation of the volumes of the sample and the cavity. The expandable polyfoam can be used as the material of the positioning holder 610 because its relative dielectric permittivity (ϵ_r) is nearly one, which is the same as that of the air (ϵ_0), so it will not cause much effect to the measurements.

From the cross-sectional view, it can be seen that the long pin of the SMA connector is the axis, the thickness of the top end 310a is thicker and the long pin is inside it, so the long pin and the lock hole form a coaxial line. This coaxial structure make the combination of a quarter-wavelength ($\lambda/4$) transformer and the loop coupler 320 possible. Thus, the loop coupler 320 in the invention has the function of both loop coupling and transforming. Referring to FIG.7, it illustrates the

cross-sectional view of the connection spot of the cavity's top end 310a and the loop coupler 320. Using FIG.7 as an example, the bending part of the loop coupling end 325b is 2mm, the length in which the long pin inserted to the cavity 310 is 10mm and the diameter of the long pin is 1.5mm. Therefore, the length of the long pin's central line inside the cavity 310 is 10.5mm. If this length is seen as a quarter of the wavelength, then the frequency can be calculated as 7.4 GHz in TM_{012} mode. The exciting end 325, viewing from the receiving end 321, can be regarded as a quarter-wavelength coaxial line. At the resonant frequency, the impedance is regarded as an open circuit and Q_e is infinite. In this way, the cavity retains its high Q factor. In practice, a network analyzer HP-8510 is used to measure the characteristics of the loop coupled microwave cavity 300, to obtain a central frequency of the TM_{012} mode $f_{012} = 7.549$ GHz, 3dB as the bandwidth $BW = 100$ KHz, so the Q factor of the cavity in TM_{012} mode is

$$Q = f_{012}/BW \cong 75,000$$

In the conventional setting, even though the Q factor of the cavity in TE_{01n} mode can reach 50000, it is limited to measuring liquid or circularly flat solid samples. As well, the manufacturing of this kind of is very difficult. In comparison, the invention provides a loop coupled microwave cavity that is obviously improved from the conventional device.

The preferred embodiment of the invention that has been discussed will provide the following advantages;

1. a simple structure that is easy to make
2. uses a reflection style to excite the cavity to keep the cavity structure close to its original geometric structure
3. uses a loop coupler to provide transforming and loop coupling functions in order to keep the high Q factor
4. in TM_{012} mode, the Q factor of the cavity can be higher than 75000 in order to measure the dielectric characteristics of a high Q factor

It is important to know that the invention applies SMA connector as the coupler to receive microwave signal and to excite the cavity. However, the SMA connector is not the only component that can be used to perform the function.

While the invention has been described by way of example and in terms of the preferred embodiment, it is to be understood that the invention is not limited to the disclosed embodiment. To the contrary, it is intended to cover various modifications and similar arrangements and procedures, and the scope of the appended claims therefore should be accorded the broadest interpretation so as to encompass all such modifications and similar arrangements and procedures.

WHAT IS CLAIMED IS:

1. A loop coupled microwave cavity, comprising:

a cavity, wherein one end of the cavity is a top end having a lock hole;

and

a loop coupler placed in the lock hole and connected to the cavity,

wherein the loop coupler comprises:

a receiving end for receiving a microwave signal; and

an exciting end connected to the inner wall of the cavity through the lock hole, wherein the microwave signal transmit through the exciting end and excite the cavity.

2. The loop coupled microwave cavity according to claim 1, wherein the cavity has a side hole connected to the cavity for inserting a diminutive sample.

3. The loop coupled microwave device according to claim 2, wherein the loop coupler is for impedance transforming and loop coupling.

4. The loop coupled microwave device according to claim 2, wherein the loop coupler is a SMA connector.

5. The loop coupled microwave cavity according to claim 4, wherein the SMA connector is for impedance transforming and loop coupling.

6. The loop coupled microwave cavity according to claim 2, wherein the loop coupled microwave cavity is TM_{012} mode.

7. The loop coupled microwave cavity according to claim 2, wherein the cavity is made of a metallic material.

8. The loop coupled microwave cavity according to claim 7, wherein the metallic material is copper.

9. The loop coupled microwave cavity according to claim 2, wherein the diminutive sample is made of a dielectric material.

10. The loop coupled microwave cavity according to claim 1, wherein the loop coupler is for loop coupling and impedance transforming.

11. The loop coupled microwave cavity according to claim 1, wherein the excited mode of the loop coupled microwave cavity is TM_{012} mode.

12. The loop coupled microwave cavity according to claim 1, wherein the loop coupler is a SMA connector.

13. The loop coupled microwave cavity according to claim 1, wherein the SMA connector is for impedance transforming and loop coupling.

14. The loop coupled microwave cavity according to claim 1, wherein the cavity is made of a metallic material.

15. The loop coupled microwave cavity according to claim 14, wherein the metallic material is copper.

16. The loop coupled microwave cavity according to claim 1, wherein the diminutive sample is made of a dielectric material.

* * * * *

【図1】

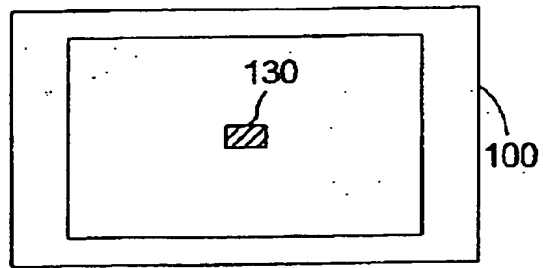


FIG. 1

【図2】

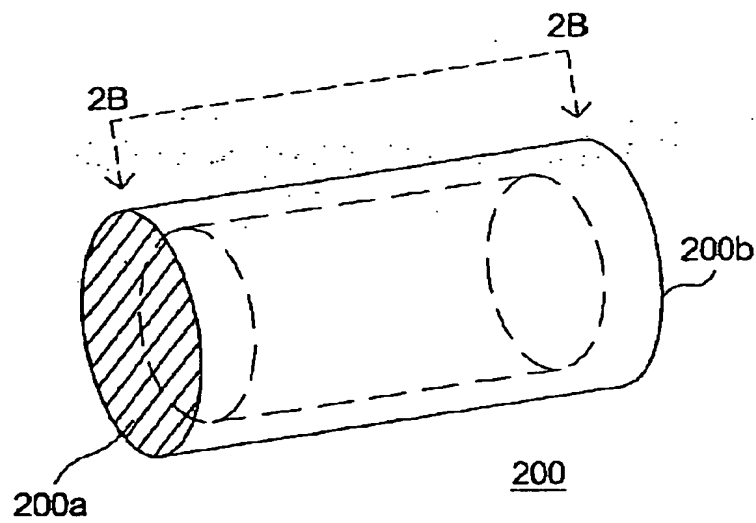


FIG. 2A

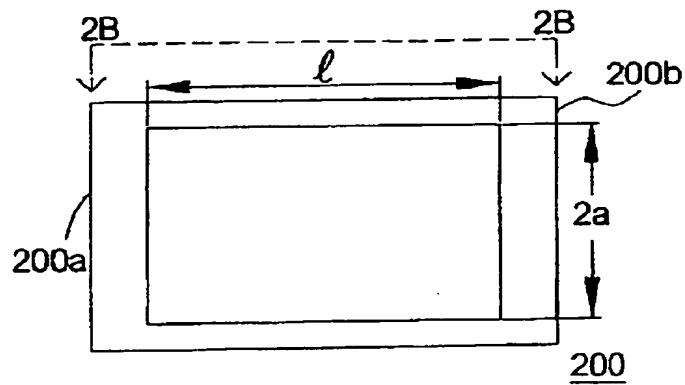


FIG. 2B

【図3】

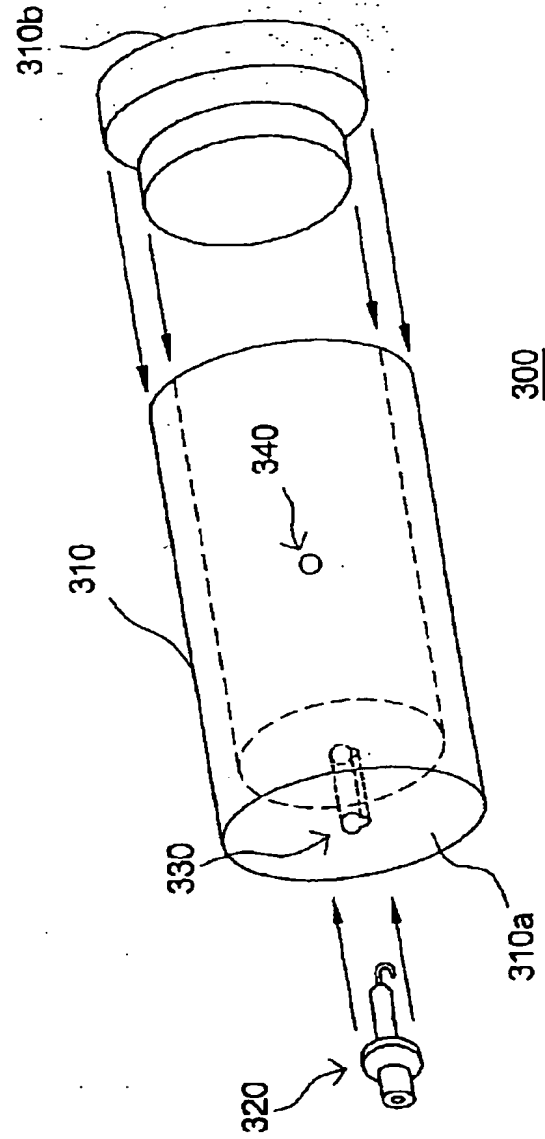


FIG. 3

【図4】

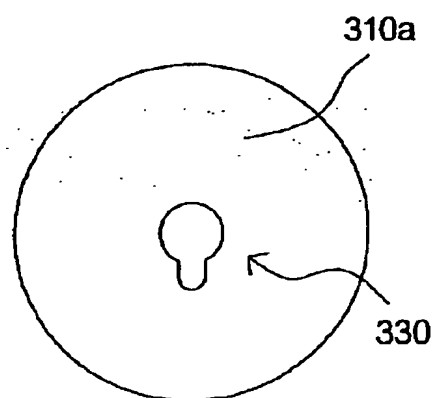


FIG. 4

【図5】

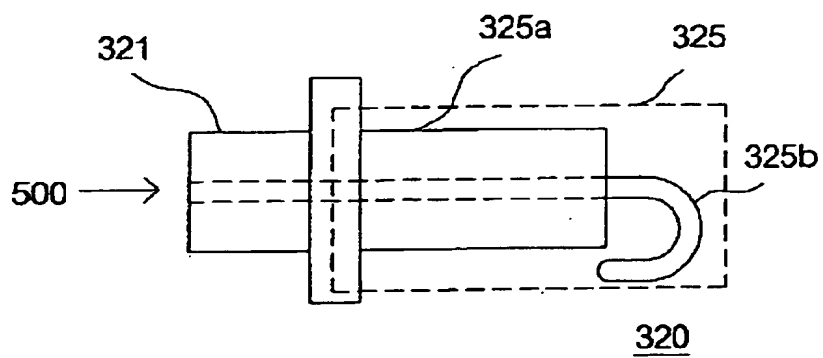


FIG. 5

【図6】

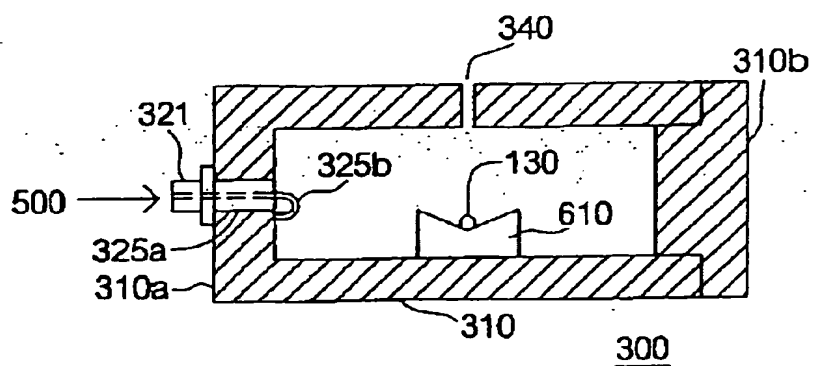


FIG. 6

【図7】

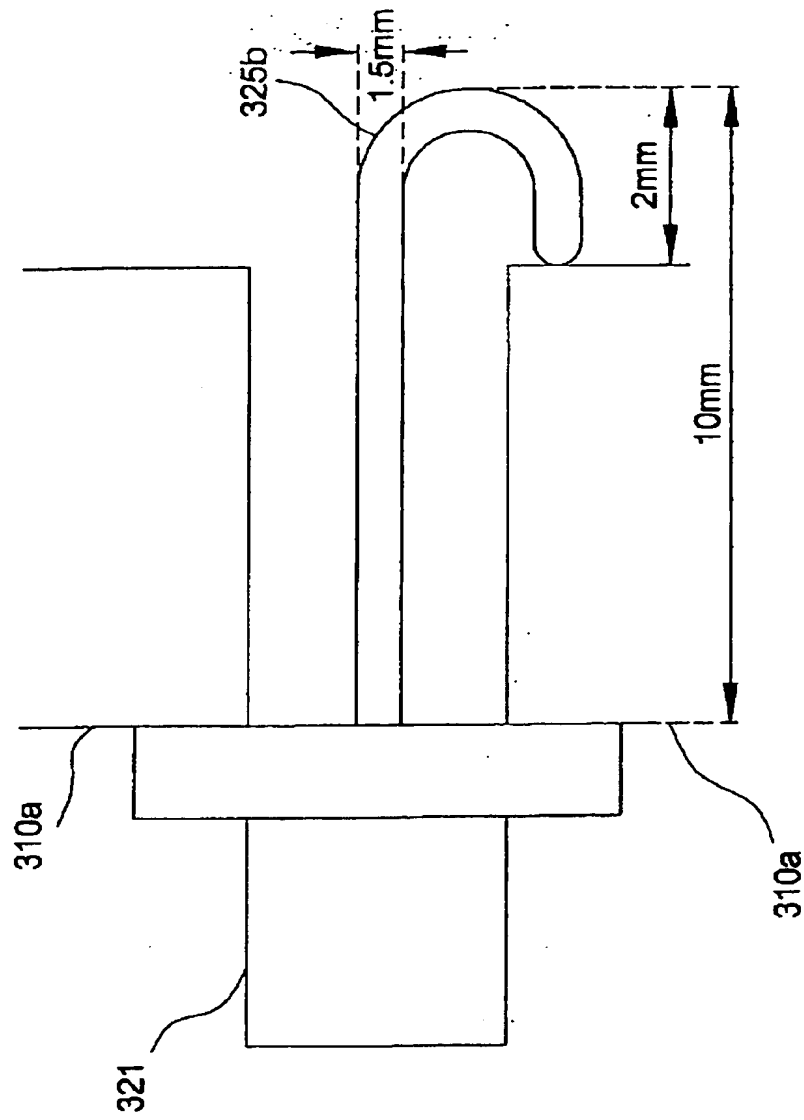


FIG. 7

ABSTRACT OF THE DISCLOSURE

A loop coupled microwave cavity, which uses a cylindrical cavity as the main body and has a lock hole on the top of the cavity in order to connect to a loop-coupling end formed by bending the long pin of a SMA connector. The long pin of the SMA extends into the cavity through the lock hole so that the top end of the long pin will touch the inner wall of the cavity to receive a microwave signal in TM_{012} mode to excite the cavity. On the other hand, the coaxial structure formed by the long pin and the lock hole is a quarter-wavelength transformer, so the SMA connector has both loop coupling and transforming functions to increase the Q factor of the cavity. A diminutive sample is inserted into the cavity to perform the cavity perturbation method (CPM).

* * * * *